

# 半干旱黄土区降水和气温对北川河径流的影响

李淑芳<sup>1,2</sup>, 杨建英<sup>1,2</sup>, 陈琳<sup>3</sup>, 史常青<sup>1,2</sup>, 李丹雄<sup>1,2</sup>, 张艳<sup>1,2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

**摘要:** [目的] 揭示山西省方山县北川河上游流域降水和气温对北川河径流的影响, 为分析三川河上游流域乃至黄河中游流域径流量的变化原因提供参考。[方法] 利用圪洞控制站数据, 采用回归分析、累计距平、多元线性回归模型等方法分析了山西省方山县北川河上游流域 1985—2009 年间的气象数据、北川河径流变化特征及其相关性。[结果] 北川河流域 1985—2009 年年降水量变化波动性大, 整体呈现不明显的下降趋势。最高、最低气温 2003 年出现骤变, 与气温的升高趋势相反, 潜在蒸散发呈逐渐下降趋势。北川河年径流量变化差异较大, 具有一定的阶段性和突变性, 整体呈不明显的下降趋势。[结论] 年降水量与温度是影响北川河径流量的主要因子, 降水量中汛期降水量占主导地位。

**关键词:** 半干旱黄土区; 降水; 气温; 北川河; 径流变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0018-06

中图分类号: P339, P333

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.005

## Influence of Rainfall and Temperature on Runoff of Beichuan River in Semiarid Loess Region

LI Shufang<sup>1,2</sup>, YANG Jianying<sup>1,2</sup>, CHEN Lin<sup>3</sup>, SHI Changqing<sup>1,2</sup>, LI Danxiong<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,2</sup>

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China; 3. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** [Objective] The influence of rainfall and temperature in semiarid loess region on runoff of Beichuan River was studied in order to provide reference for the analysis of the reasons for the change in upper reaches of Sanchuan River basin and the runoff in the middle reaches of the Yellow River. [Methods] The data from Qiandong station was analyzed by regression analysis model, accumulative anomaly model and multiple-linear regression model. [Results] Great changes existed in Beichuan drainage basin from 1989 to 2009, totally expressing an inconspicuous decreasing trend. The highest and the lowest temperature appeared in 2003, on the contrary, latent evapotranspiration presented the declining trend. The annual runoff of Beichuan river had great diversity, qualified certain degree of phased nature and mutation, showing an inconspicuous decreasing trend as a whole. [Conclusion] It is indicated that annual precipitation and temperature are the main factors influencing the runoff volume of Beichuan River, and the rainfall of flood reason plays the leading role in precipitation of this basin.

**Keywords:** semiarid loess region; rainfall; temperature; Beichuan River; runoff change

三川河流域位于黄土高原的多沙粗沙区, 土壤侵蚀模数高达 10 000~20 000 t/(km<sup>2</sup>·a), 水土流失严重, 学者们在水沙特点及其变化趋势方面开展的分析研究较多<sup>[1-2]</sup>, 但有关流域气候和降水变化特点及其对径流的影响方面研究较少。目前气候变化已然成为全球性的关键问题之一。全球气候变化必然引

起全球水分的变化, 导致水资源在时间空间上的重新分配和水资源数量的改变<sup>[3]</sup>。2005—2009 年由于气候变化, 欧洲的很多地区遭受极端热浪、干旱、暴雨和洪水的影响<sup>[4]</sup>, 可见气候变化在水循环过程中起着重要作用。蓝永超<sup>[5-6]</sup>等对开都河与乌鲁木齐河上游、疏勒河山区气候变化对径流因素的影响。郭军庭<sup>[7]</sup>

收稿日期: 2014-05-29

修回日期: 2014-06-05

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题“黄土高原丘陵沟壑半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”(2006BAS03A1201)

第一作者: 李淑芳(1989—), 女(白族), 云南省鹤庆县人, 博士研究生, 研究方向为建筑环境与城镇规划。E-mail: sunnylsf@sina.com。

通信作者: 杨建英(1965—), 女(汉族), 河北省行唐县人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持与工程概预算研究。E-mail: jyyang@bjfu.edu.cn。

等运用 SWAT 模型对潮河的土地利用和气候变化进行模拟来分析气候变化和土地利用对径流的影响。这些学者<sup>[8-9]</sup>从不同的角度运用不同的方法对气候与径流的关系做了大量的研究工作,其结果基本都证明了气候变化对径流具有影响,二者存在有一定相关性。北川河是山西境内黄河的一级支流三川河的发源地<sup>[10]</sup>,对该流域径流变化特点及其影响影响因素方面的研究,有助于上游流域乃至黄河中游流域径流量变化原因的分析研究。

## 1 研究区概况

北川河总长 168 km, 坡降 4.14‰<sup>[11]</sup>, 地处山西省方山县的圪洞控制站上游控制流域面积为 749 km<sup>2</sup>, 该流域范围位于吕梁山中段西翼黄土区, 112°2'50"—111°34'30"E, 37°36'58"—38°10'27"N, 属于西北黄土高原区。该流域东北部较高海拔处多为花岗岩和古老变质岩山地, 降雨量充沛, 植被覆盖度高, 河道狭窄, 有发育不连续或明显不对称的二级阶地出现, 且多为第四纪马兰黄土所覆盖<sup>[12]</sup>。流域东北地势高差达 1 000 m。流域内坡度多为 15°~20°, 极少大于 30°, 且阳坡、半阳坡居多, 适宜种植阳性树种。研究区属于暖温带大陆性季风气候, 冬、春季寒冷干燥, 秋季凉爽少雨, 夏季降雨集中, 多年平均降雨量为 516.2 mm, 多年水面蒸发量高达 1 861 mm, 干燥度为 1.3。流域主要土壤类型有棕壤、栗褐土、黄绵土、淋溶褐土、潮土及脱潮土, 其中栗褐土和黄绵土居多。研究区土壤呈明显的地带性分布, 土石山区以棕壤为主, 黄土丘壑区以栗褐土和黄绵土为主, 而河流阶地则分布潮土类型。

## 2 研究方法

### 2.1 资料收集与数据处理

收集山西省方山县圪洞水文控制站 1985—2009 年间逐日逐月的气象数据, 包括日最高、最低气温和日均气温。水文站 1985—2007 年间逐日、逐月的降水、径流数据。

首先利用线性回归法将个别缺失的数据进行补充, 再按 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12—翌年 2 月为冬季对站点径流资料进行四季划分, 5—9 月为汛期, 10 月至翌年 4 月为非汛期对站点的降水量进行划分, 然后计算出北川河流域不同年份的年平均降水量、研究期内不同月份的平均降水量, 研究期内汛期、非汛期的平均降水量, 研究期内最高、最低气温的平均值和年平均气温, 年平均径流量、研究期内不同月份的平均径流量和不同季节的平均

径流量, 利用世界粮农组织 (FAO) 在推荐的 Penman—Monteith 公式计算出潜在蒸散发<sup>[13]</sup>, 进而分析气候变化与径流变化的特征。

### 2.2 研究方法

(1) 回归分析法。采用回归分析法对气温、降水量、蒸发量、蒸散发<sup>[14]</sup>和径流的趋势进行分析, 趋势分析主要是研究水文时间序列顺序递增或递减的变化规律<sup>[15]</sup>。

(2) 累计距平检验。通过累计距平可直观的判断气候长期的演变趋势及其突变的大致时间。其表示方法为: 对于序列  $x$ , 某一时刻  $t$  的累计距平表示:

$$\hat{x}_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

将各个时刻的累计距平通过公式(1)计算得出, 绘制曲线, 进行趋势分析, 并根据曲线中的突变点对序列  $x$  进行突变分析。

(3) 潜在蒸散发。采用世界粮农组织 (FAO) 在 1998 年推荐的 Penman—Monteith 公式计算:

$$E_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

式中:  $E_0$ ——潜在蒸散发 (mm/d);  $R_n$ ——表层净辐射铜梁 (MJ/m<sup>2</sup> · d);  $G$ ——土壤热通量 [MJ/m<sup>2</sup> · d];  $T$ ——2 m 高处的平均气温 (°C);  $u_2$ ——2 m 高处风速 (m/s);  $e_s$ ——饱和水汽压 (kPa/°C);  $e_a$ ——实际水汽压 (kPa/°C);  $\Delta$ ——饱和水汽压—温度曲线的斜率 (kPa/°C);  $\gamma$ ——干湿表常数 (kPa/°C)

(4) 多元线性回归。先将径流量、气温、降水量、汛期降水量、非汛期降水量、潜在蒸散发之间的进行相关性分析, 计算公式为:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

式中:  $r$ ——相关系数;  $x_i$ ——自变量;  $y_i$ ——因变量  
经过相关性分析后,  $|r| > 0.5$  的说明其显著相关, 所以选择  $|r| > 0.5$  的自变量。在置信水平为 95% 的情况下, 将径流量作为因变量与所选的自变量一起建立多元线性回归模型<sup>[16]</sup>, 根据模型进行进一步分析自变量与径流的关系, 并将其以公式的形式表现。

## 3 结果与分析

### 3.1 气温因素

3.1.1 气温变化趋势分析 三川河流域年平均气温最高为 1999 年的 8.88 °C, 最低为 1986 年的 6.70 °C,

1985—2009 年间多年平均气温为 7.91 °C，其变异系数  $C_v$  为 0.078。由图 1 可知：(1) 与  $C_v$  值表现的信息一致，年平均气温年际变化波动不大，趋势较平稳，并有逐渐上升的趋势。(2) 年最高气温和年最低气温的变化趋势在 2003 年以前比较平稳，变化不大，但是从 2003 年开始便呈现相悖状态，最高气温在 2003 年突然从 15.83 °C 升高到 23.57 °C，最低气温则突然从 3.18 °C 降低到 -3.64 °C，这可能与拉尼娜气候现象<sup>[17]</sup> 有关。利用多元线性回归模型得其标准差 Std. Dev 为 0.64，离散程度相对较低，同样也说明年际平均气温变化差异不大。

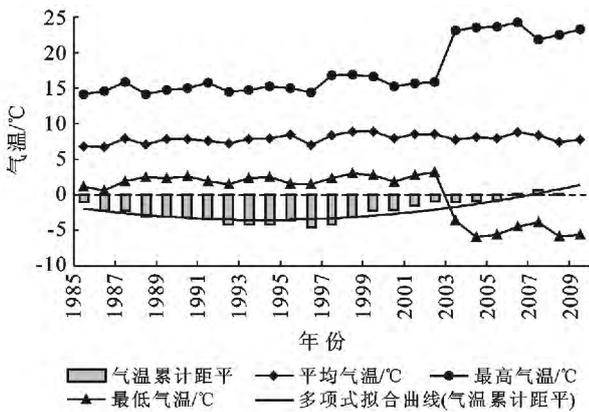


图 1 三川河流域年平均气温变化趋势

3.1.2 气温突变分析 由图 1 可以看出：(1) 从 1985—2005 年都为负距平，此阶段的变化大体以 1994 年转折点，温度先降低后升高，2006—2009 年为正距平，其以 2008 年为转折点，降水量先升后降，总体趋势呈现降—升两个变化阶段。(2) 拟合的曲线的变差系数  $C_s$  值为 -0.306，说明其分布曲线整体向右偏移，所以整体气温变化还是呈上升的趋势。

3.2 潜在蒸散发分析

3.2.1 年际潜在蒸散发变化分析 年平均潜在蒸散发最高在 1986 年为 23.071 mm，最低在 2003 年为 2.986 mm，1985—2009 年年平均潜在蒸散发为 16.236 mm。由图 2 可以看出，潜在蒸散发的变化趋势整体分为两个阶段，第一阶段是从 1985—2002 年，潜在蒸散发变化波动较多，但整体趋势较平稳。第二阶段是从 2003—2009 年，2003 年潜在蒸散发骤然降低，从 2002 年的 18.858 mm 突然降到 2.986 mm，随后的变化差异突然增大。而其偏差系数  $C_v$  值为 0.385，是气温  $C_v$  值的 5 倍，由此可知，这个变化主要是在 2003 年后，气温的突变造成的。

3.2.2 潜在蒸散发突变分析 由潜在蒸散发的  $C_s$  为 -1.062 和图 2 的拟合曲线可知，潜在蒸散发分布

曲线整体向右偏移，呈现逐渐下降趋势。其以 2000 年为转折点，突然间下降。以 2003 年为突变点，距平变为负。其变化与气温的变化相反，且都在 2003 年发生的突变，说明蒸散发与气温有关，但是蒸散发随着温度的逐渐升高而降低。其二者相反的关系可能是由于气温的突变或者其他原因引起的。

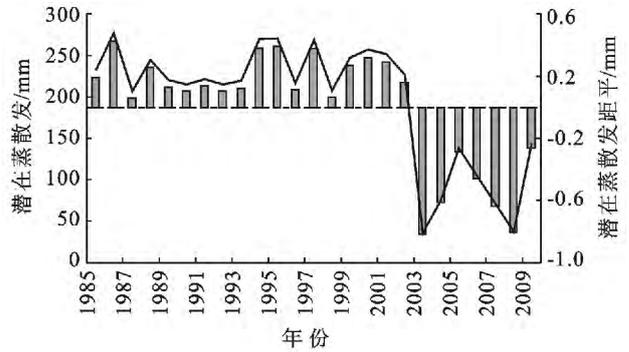


图 2 三川河流域年潜在蒸散发变化

3.3 降水因素

3.3.1 降水量年内变化规律 平均年内降水量最大为 7 月份的 115.132 mm，最低为 1 月份的 3.968 mm。由图 3 可知：(1) 降水量年内分配为明显的单峰型曲线，并且呈钟形正态分布，在 7 月份出现峰值，从 7—8 月份开始分别向两边逐渐递减。(2) 降水主要集中在 6—9 月份，由曲线与横坐标所围面积可知，6—9 月份的降水量占据全年降水量的 70% 以上。由其  $C_v$  值为 0.219 和利用多元线性回归模型得到其标准差 Std. Dev 为 110.54 可知，离散程度较高，说明年降水量变化差异较大，从图 3 中也可看出其变化波动性之大，且趋势不明显。由图 4 可知：(1) 降水具体呈 4 个阶段的变化，第一阶段：1985—1987 年为下降趋势；第二阶段：1987—1990 年呈上升趋势；第三阶段：1990—1997 年呈下降趋势。第 4 阶段：1997—2009 年呈现逐渐上升趋势，但总体降水量水平明显低于第 3 阶段，所以降水量总体还是呈波动且不明显的下降趋势。(2) 1988, 2007, 2009 年降水量偏多，1997, 1999, 2005 年降水量偏少。(3) 从 1990 年开始降水量变化周期越来越长，趋势越来越稳定，这对以后降水量的预测具有一定参考价值。

将汛期和非汛期降水量的时间序列分布进行分析可知：(1) 汛期降水量的时间序列分布图和全年降水量时间序列分布相似，都呈波动且不明显的下降趋势；非汛期的时间序列分布与全年降水量时间序列分布不相符，呈现波动且不明显的上升趋势。(2) 汛期的最低降水量为 242.2 mm 明显高于非汛期的最高降水量 230.3 mm，说明全年降水量主要是以汛期

降水量为主,影响全年降水量的主要是汛期的降水量。

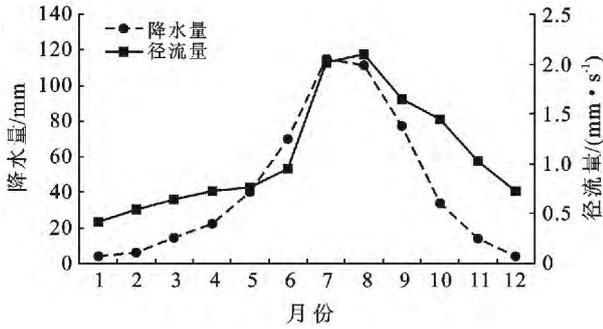


图 3 三川河流域年内降水分布

3.3.2 年际降水和降水突变分析 由图 4 可以看出,北川河流域 1985—2009 年的各年总降水量在 282.1~715.8 mm,总平均降水量为 513.6 mm,其中出现最大年降水量在 1988 年为 715.8 mm,最小年降水量在 1999 年为 282.1 mm。

降水量变化有两个阶段周期较长,第 1 个阶段为 1988—1997 年,此期间降水累计距平都为正,降水量年际变化差异较小,波动性不大。第二阶段以 1998 年为突变点一直到 2009 年,降水量累计距平都为负,降水量年际变化差异较大,特别是从 2003 年开始,波动性变大。说明降水量演变具有一定的阶段性和突变性。

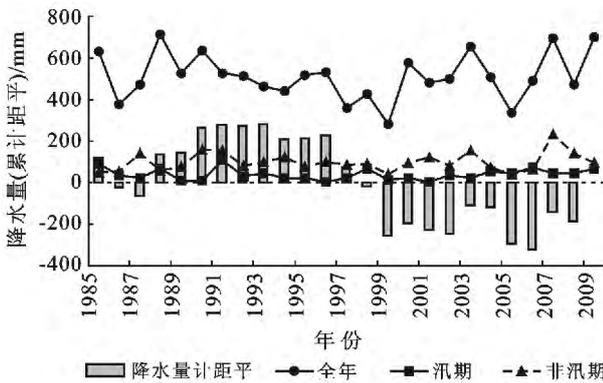


图 4 三川河流域汛期、非汛期、年降水量

### 3.4 径流量变化

3.4.1 年际径流量变化 通过计算得到年际平均径流量的  $C_v$  值为 0.515,利用多元线性回归模型得到其 Std. Dev 为 0.56,由此可知离散程度相对较高,说明其变化差异性较大,与图 5 的表现相符。最大径流量为 1988 年的  $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最小径流量为 1999 年的  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,总年际平均径流量为  $1.085 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由图 5 可以看出,年际平均径流量变化波动性较大,拟合曲

线表明流域的年平均径流量呈现逐渐下降趋势;从季节来观察,全年径流量的年际变化与夏季的波动性和趋势都较为相似,且夏季径流量为最大,冬季径流量为最小,说明流域径流全年的变化趋势夏季影响最大,冬季影响最小。

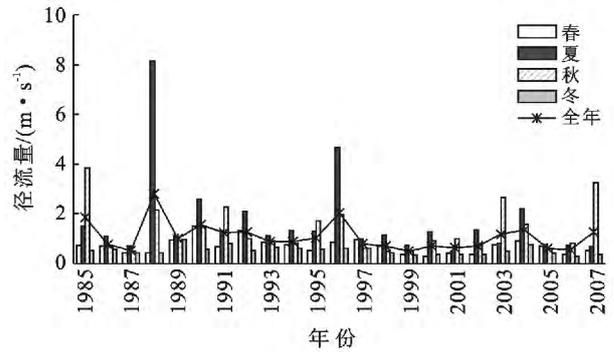


图 5 年际径流变化趋势

3.4.2 年内平均径流量变化 年内平均径流量从 1 月份开始的  $0.421 \text{ m}^3/\text{s}$  到 8 月份的  $2.103 \text{ m}^3/\text{s}$  处于上升趋势,然后下降到 12 月份的  $0.723 \text{ m}^3/\text{s}$ ,总平均年内径流量为  $1.085 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由图 3 可知:(1) 径流量年内分布也成明显的单峰型曲线,并且也类似钟形正态分布,其在 8 月份出现峰值,从 7—8 月份分别开始向两边逐渐递减。1—5 月份的径流量增长比较稳定,呈逐渐上升的型式。(2) 主要径流量集中在 7—11 月份,其变化趋势和年内降水量变化趋势一样,但其总体变化比降水量的变化推迟 1 个月。

### 3.5 降水、气温、径流之间的相关关系

3.5.1 各变量之间的相关性分析与探讨 由表 1 可得:(1) 降水量与气温和蒸散发都呈负相关关系,即温度和蒸散发对降水量的影响一样,温度和蒸散发增大,会使降水量减少。但降水量与温度和蒸散发的相关系数分别为 0.33 和 0.32,说明温度和蒸散发对降水量的影响不大。降水量与汛期的降水量相关系数达到 0.9,而非汛期降水量的相关系数仅为 0.4,说明汛期降水量是影响降水量的主导因子。(2) 温度与蒸散发呈负相关关系,即温度升高,蒸散发会减小,一般温度升高,蒸散发应该增大,但这里相反,这可能是因为温度影响降水量,降水量又影响蒸散发,且对降水量蒸散发的影响远大于温度对蒸散发的影响,也有可能是气温的突然变化对蒸散发产生反常影响。温度与汛期降水量的相关系数是非汛期的 4 倍,且与汛期降水量为负相关关系,与非汛期降水量为正相关关系,这说明温度主要通过对汛期降水量的影响来影响总的降水量。(3) 非汛期降水量与蒸散发的相关系数为 0.34,而汛期降水量与蒸散发的相关系数只

为 0.20,说明蒸散发主要是通过影响非汛期降水量来影响总降水量。

由表 1 分析气温、水文与径流的相关性:(1)气温与径流量呈负相关,即气温升高会使径流量减少。气温对径流的影响主要是通过影响冰雪融水<sup>[18]</sup>、流域总蒸发量、流域下垫面与近地面层空气之间的温差<sup>[19]</sup>。其相关系数为 0.63,是与降水量的相关系数的两倍,所以温度对径流的影响比对降水量的影响大。(2)降水量与径流量之间主要表现为正相关关

系,其相关系数为 0.69,相关关系明显比温度与径流量的关系密切。可能是因为降水越多,河流汇水越多,径流量随之增多。降水量与径流的相关关系比温度密切,所以主要影响径流的是降水量。(3)区域气温的高低会影响同期陆地蒸发和植物蒸腾量的大小<sup>[20]</sup>,不仅影响了降水量的减少,同时也影响到径流量。(4)汛期降水量的相关系数为 0.777,为非汛期降水量对径流量的相关系数的 19 倍多,说明对径流量的影响汛期降水量占主导地位。

表 1 径流量、气温、降水量之间的相关性

项目	降水量/ mm	温度/ ℃	潜在蒸散发/ mm	汛期降水量/ mm	非汛期降水 量/mm	径流量/ mm
降水量/mm	1	-0.33	-0.32	0.91	0.49	0.70
温度/℃		1	-0.19	-0.43	0.11	-0.60
潜在蒸散发/mm			1	-0.20	-0.34	-0.02
汛期降水量/mm				1	0.08	0.78
非汛期降水量/mm					1	0.04
径流量/mm						1

2.5.2 多元线性回归模型 通过以上相关性分析可知,年平均潜在蒸散发量和非汛期降水量对年均径流量的影响较小,因此可以忽略其对径流量的影响。通过单位根检验得知年平均径流量(m<sup>3</sup>/s),年平均降雨量(mm),年平均温度(℃)均为平稳性数据,因此可以建立如下多元线性回归模型来分析此三者之间的关系,其表达式为:

$$Y=2.7881+0.0331X_1-0.3912X_2 \quad (5)$$

由于调整的可决系数为 0.664 8,表示有 66.48%可以由该线性回归方程解释,而且(C, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) p < 0.05,说明在模型中各变量均通过检验, F = 19.828 64,说明模型经过 F 检验,因此线性模型建立较为合理。平均年际降水量、温度的 |t| 值与 3 接近,故回归系数均显著不为零,所以降水量、温度对径流有显著影响。且将 1985, 1995, 2005 年 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> 的值带入式中检验,分别得 Y 值为 1.85, 0.93 和 0.62,与原降水量 1.86, 1.04, 0.63 相差无几,说明降水量、温度对径流量有一定影响(表 2)。

表 2 多元线性回归模型

变量	相关系数	平均标准误	t 值	p 值
C	2.788 144	1.117 344	2.495 332	0.021 4
X <sub>1</sub>	0.033 164	0.008 272	4.009 027	0.000 7
X <sub>2</sub>	-0.391 202	0.119 730	-3.267 376	0.003 9

注:C 指截距, X<sub>1</sub> 指降水量, X<sub>2</sub> 指温度。

通过相关性分析可知非汛期平均降水量对径流量的影响不大(表 3),可以忽略,而且经过单位根检

验得知汛期和径流量的数据为平稳性数据,为了较好地分析汛期对径流量的影响,可以建立一元线性回归模型来进行较为详细的分析,其表达式为:

$$Y=-0.740 9+0.022 3X_4 \quad (6)$$

由于调整的可决系数为 0.604 0,有 60.4%可以由该线性回归方程解释,而且(C, X<sub>4</sub>) p < 0.05,说明在模型中各变量均通过检验, F = 32.030 65,说明模型经过 F 检验,因此线性模型建立较为合理。将 1985, 1995, 2005 年 X<sub>4</sub> 带入表达式中,可得 Y 分别为 1.86, 1.22 和 0.63,更接近原降水量 1.86, 1.04 和 0.63,说明汛期降水量对径流量的影响比前温度和总降水量对径流量的影响大。

表 3 一元线性回归模型

变量	相关系数	平均标准误 Std. Error	t	p
C	-0.740 929	0.331 317	-2.236 313	0.036 3
X <sub>4</sub>	0.022 332	0.003 946	5.659 563	0

注: X<sub>4</sub> 表示汛期降水量。

## 4 结论

(1) 年平均气温变化趋势较平稳,整体呈现不明显的上升趋势,但最高、最低气温于 2003 年出现突升、突降现象,之后又重回平稳趋势。降水量的年际变化差异较大,年内分布不均,最大年出现在 1988 年,最小年出现在 1999 年。1990 年开始降水量变化周期逐渐变长,且趋于平稳,整体呈下降趋势。2003

年前潜在蒸散发呈现平稳的上升趋势,2003年突然下降,之后的变化波动性较大,变化节点与气温发生骤变的节点一致,整体呈下降趋势。

(2) 北川河多年平均净流量为  $1.085 \text{ m}^3/\text{s}$ ,整体呈现减少趋势,径流量的年际变化较大,具有明显的阶段性和突变性。整体趋势与年降水量的变化趋势一致,与气温变化趋势相反。

(3) 通过线性回归分析知降水和温度对径流有显著影响。降水量与径流之间呈正相关,温度与径流量之间呈负相关,且降水量对径流量的影响明显高于温度对径流量的影响。降水量对径流量的影响以汛期降水量占主导地位。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王国庆,姜乃迁,陈江南,等. 黄土高原三川河流域水沙变化研究综述[C]//中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第四届学术讨论会论文集,广西北海:2003:153-156.
- [2] 尹国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析[J]. 地理学报,1998,53(2):174-183.
- [3] 时兴合,秦宁生,汪青春,等. 黄河上游径流变化特征及其影响因素初步分析[J]. 中国沙漠,2007,27(4):690-697.
- [4] 高俊杰. 气候变化对水资源的影响分析[C]. 北京:2009年中国可持续发展论坛暨中国可持续发展研究会学术年会论文集(下册),2009:603-606.
- [5] 蓝永超,胡兴林,肖生春,等. 近50年疏勒河流域山区的气候变化及其对出山径流的影响[J]. 高原气象,2012,31(6):1636-1644.
- [6] 江涛,陈永勤,陈俊合,等. 未来气候变化对我国水文水资源影响的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2000,39(S3):151-157.
- [7] 郭军庭,张志强,王盛萍,等. 应用SWAT模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响[J]. 生态学报,2014,34(6):1559-1567.
- [8] 杨贵羽,周祖昊,秦大庸,等. 三川河降水径流演变规律及其动因分析[J]. 人民黄河,2007,29(2):42-44.
- [9] 王云璋,康玲玲,王国庆. 近30年三川河流域降水变化及其对径流的影响[J]. 西北水资源与水工程,2003,14(3):8-12.
- [10] 黄荣辉,韦志刚,李锁锁,等. 黄河上游和源区气候,水文的年代际变化及其对华北水资源的影响[J]. 气候与环境研究,2006,11(3):245-258.
- [11] 张则录,张茂盛,王学萌,等. 晋西三川河流域水资源评价及其开发利用[J]. 资源科学,1985(2):53-59.
- [12] 丁宏伟,何江海. 疏勒河出山径流量变化特征及趋势分析[J]. 干旱区研究,2001,18(3):48-53.
- [13] 王新菊. 新疆地区气象要素变化对潜在蒸散发量的影响[J]. 人民黄河,2012,34(10):77-79.
- [14] 陈琳,赵延宁,赵陟峰. 晋西半干旱黄土地区典型林分枯落物及土壤水文效应[J]. 安徽农业科学,2012,39(23):14106-14108.
- [15] 卢晓宁,邓伟,栾卉,等. 近50年来霍林河流域径流量演变规律研究[J]. 干旱区资源与环境,2005(S1):90-95.
- [16] 徐长春,陈亚宁,李卫红,等. 45年来塔里木河流域气温、降水变化及其对积雪面积的影响[J]. 冰川冻土,2007,29(2):183-190.
- [17] 张玉娜,徐长春,李卫红,等. 开都河流域气候变化特征及其对径流的影响[J]. 中国水土保持科学,2014,12(1):81-89.
- [18] 张鹏飞,赵景波. 50余年来厄尔尼诺-拉尼娜(ElNino/LaNina)事件对山西省气候影响分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2):74-78.
- [19] 黄俊雄,徐宗学,巩同梁. 雅鲁藏布江径流演变规律及其驱动因子分析[J]. 水文,2007,27(5):31-35.
- [20] 康玲玲,余辉,王金花,等. 气候变化对黄河唐乃亥以上地区径流量的影响[J]. 水力发电,2006,31(7):22-24.